

*Elena N.Minina,
ScD, Assistant Professor;*

*Irina M. Belousova,
Post-Graduate;
Crimean Federal University (Tavria Academy)*

Features of Forming Ventilation Types Depending on the Tension of Carbon Dioxide at the End of Exhalation among the Students with Different Levels of Physical Working Capacity

Key words: *CO₂ mass transfer process, physical working capacity, external respiratory system dysfunction*

Annotation: *The analysis of the interconnection of the of carbon dioxide content in the exhaled air with defining a ventilation type, breathing pattern and tension of the regulatory mechanisms of the body has allowed to determine the functional orientation of the changes in the structure of the system of regulating the oxygen regime of the body among young men with different levels of physical performance.*

При изучении соматического статуса человека не вызывает сомнений актуальность исследования респираторной системы, поскольку дыхание является фундаментальной витальной функцией организма и обеспечивает поддержание одного из важнейших параметров гомеостаза — нормального газового состава артериальной крови (1).

Для поддержания адекватного газового состава организма, углекислый газ, поступающий в альвеолы из тканей, удаляется из лёгких в составе выдыхаемого газа. Скорость элиминации CO₂ в окружающую среду должна соответствовать скорости продукции его в тканях. В противном случае CO₂ накапливается в организме в избытке или, наоборот, вымывается из тканей (2, 3). В организме, таким образом, сочетаются две группы взаимозависимых параметров массопереноса двуокиси углерода: скорость его поэтапного продвижения и его парциальное давление на каждом этапе. Сочетание этих различных параметров, строго регулируемых организмом, характеризует режимы, в которых происходит процесс массопереноса CO₂, который является важным продуктом жизнедеятельности организма, поскольку он регулирует механизм обратной связи (4). Уровень концентрации CO₂ в крови оказывает наиболее существенное влияние на обмен веществ, регулировку вентиляции, действует непосредственно на дыхательные центры в продолговатом мозге и влияет на pH спинномозговой жидкости. Увеличение уровня CO₂ приводит к увеличению вентиляции за счет стимулирования диафрагмального и межреберных нервов, которые активируют дыхательные мышцы и способствуют ускорению выведения CO₂ (5, 6). Сниженные вентиляционные

способности, в свою очередь, существенно изменяют кинетику респираторных газов с формированием гипоксических, гипокапнических или гиперкапнических состояний, и, в итоге, может привести к резкому ограничению приспособительных возможностей организма.

Так, для хорошо физически подготовленных людей характерен нормокапнический тип вентиляции. При низких функциональных резервах, в условиях психо-эмоционального напряжения, при наличии морфо-функциональных изменений в бронхо-лёгочной системе, формируются гипокапнический или гиперкапнический вентиляционные типы, определяемые как проявления дисфункциональности системы внешнего дыхания (7). По данным Балыкина М. В. (1991-1998) эти метаболические и респираторные сдвиги негативным образом сказываются на функциональном состоянии всего организма, увеличивают риск «срыва» адаптации и возникновения деструктивных изменений в висцеральных органах и являются лимитирующими факторами в обеспечении физической работоспособности.

Актуальная задача оперативного контроля состояния здоровья и работоспособности организма человека, в частности, при экспресс-оценке функционального состояния различных контингентов населения или в процессе тренировки спортсменов, легко осуществима по составу такого маркерного газа как CO_2 в составе выдыхаемого воздуха (8, 10). Определение типа вентиляции по напряжению углекислого газа в конечной фракции выдыхаемого воздуха (P_{ETCO_2}), в его взаимосвязи с физической работоспособностью может позволить эффективно корректировать патогенетические звенья, снижающие приспособительный потенциал организма (11).

В связи с вышесказанным, целью данной работы явилось выявление особенностей формирования типов вентиляции у студентов с разным уровнем физической работоспособности.

МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ ИССЛЕДОВАНИЯ

Для решения поставленной цели в период с января 2014 года по март 2015 года обследовано 175 юношей мужского пола в возрасте 18-20 лет, которые были распределены на две статистически однородные группы. В первую группу (1) вошли 25 студентов-спортсменов высокой квалификации (футболисты, со стажем занятий не менее 6 лет). Вторую (2) группу составили 150 студентов, не занимающиеся регулярно спортом.

Регистрация количественных показателей CO_2 во время выдоха проводилась с помощью ультразвукового проточного капнометра КП-01-«ЕЛАМЕД». По уровню P_{ETCO_2} выделяли: гипокапнический тип вентиляции – P_{ETCO_2} менее 35 ммрт.ст.; гиперкапнический тип вентиляции – P_{ETCO_2} более 45 ммрт.ст.; нормокапнический тип вентиляции – P_{ETCO_2} от 35 до 45 ммрт.ст. (12, 13). Уровень работоспособности определяли по индексу PWC_{170} с последующим расчетом показателей аэробных возможностей организма (МПК, л/мин, МПК/кг, мл/мин/кг) (14).

Регистрацию и анализ вариабельности сердечного ритма осуществляли с помощью программно-технического комплекса «ФАЗАГРАФ®», Оценивали

показатели вариабельности ритма сердца (BPC) – моду (M_o , с), амплитуду моды (A_{Mo} , %), вариационный размах ($MxDMn$, мс), степень напряжения регуляторных систем по индексу напряжения (ИН, ед.), который автоматически рассчитывался по формуле $ИН = A_{Mo} / (2 * M_o * MxDMn)$ (9, 15).

Математическая обработка полученных результатов проводилась с использованием программы STATISTICA V.6.0. Для оценки достоверности отличий после предварительной проверки нормальности распределения использовали t-критерий Стьюдента и критерий Манна-Уитни. Для проведения корреляционного анализа применяли критерий ранговой корреляции Спирмена.

РЕЗУЛЬТАТЫ ИССЛЕДОВАНИЯ И ИХ ОБСУЖДЕНИЕ

Как известно, интегральным показателем адаптационных резервов организма, его энергетического потенциала является максимальная скорость потребления кислорода (МПК). При этом существенное влияние на все виды обмена веществ в организме оказывает величина напряжения CO_2 в тканях, являющаяся одной из физиологических констант организма. Возможно, уровень pCO_2 является фактором, лимитирующим приспособительные возможности, оказывая регулирующее влияние на активность аэробного звена энергообеспечения. В этой связи, представляет практическое значение выявление взаимосвязи параметров $P_{ET}CO_2$ с показателями аэробных возможностей организма (рис.1). Как видно из рисунка, в группе спортсменов параметры МПК/кг находились в диапазоне значений 54-64 мл/мин/кг, что соответствовало высокому уровню работоспособности, и сопровождался характерным нормокапническим типом вентиляции.

Корреляционной взаимосвязи между величиной напряжения CO_2 и величиной МПК/кг в этой группе (1) выявлено не было. Вероятно, в широком адаптационном коридоре тренированного организма лимитирование работоспособности как и формирование гиперкапнического типа вентиляции, так же встречаемый у спортсменов, в отличие от группы 2, связано с другими механизмами. Так, у большей части обследуемых студентов, не занимающихся регулярно физическими упражнениями, на фоне низких значений физической работоспособности, выявлялись изменения типа вентиляции.

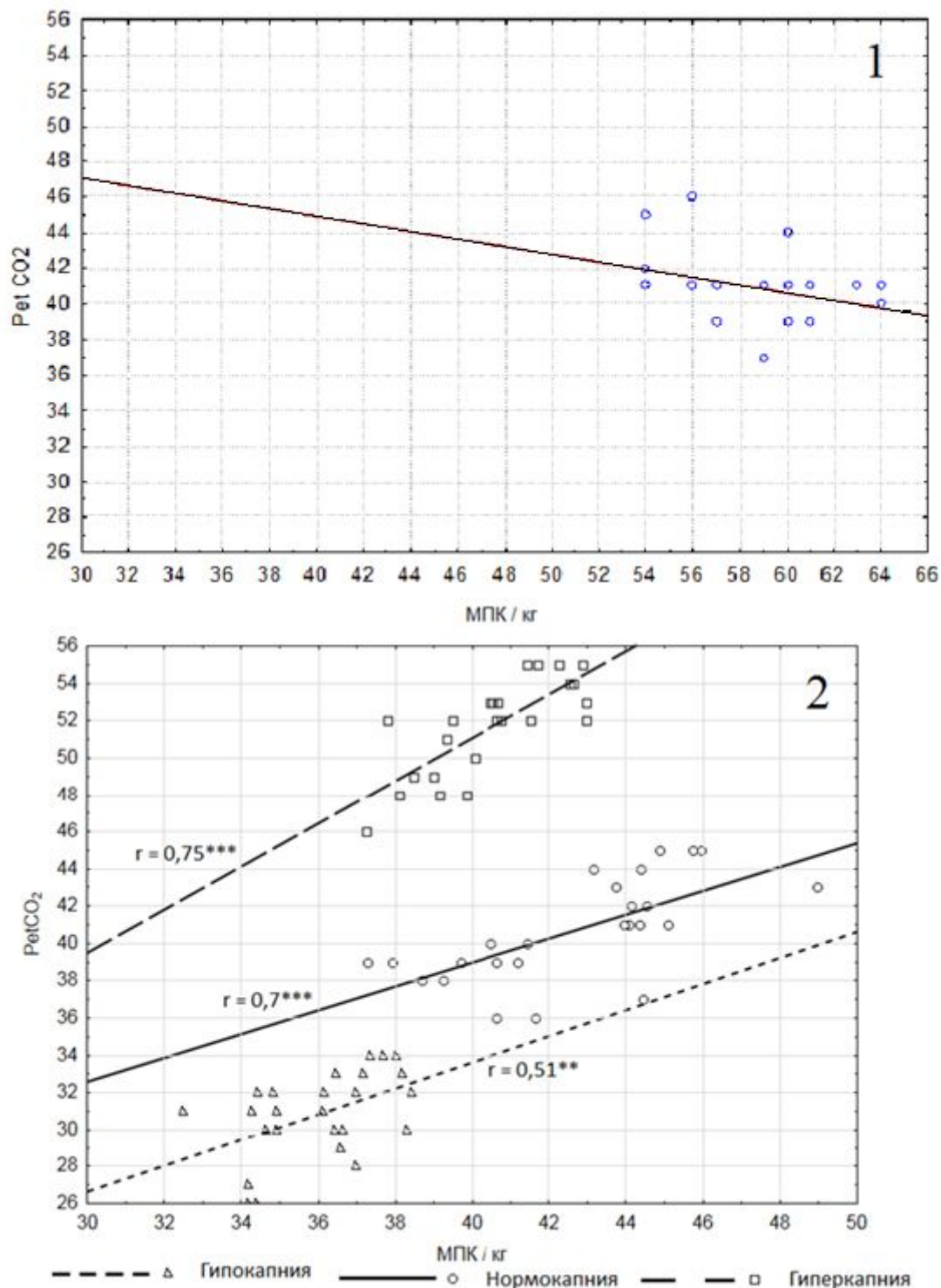


Рис. 1. Взаимосвязь показателей напряжения CO₂ в конце выдоха (P_{ET}CO₂) с величиной аэробных возможностей организма (МПК/кг) спортсменов (1) и студентов, обладающими различными типами вентиляции (2).

Для проведения корреляционного анализа зависимости МПК/кг- P_{ET}CO₂ в группе 2 были сформированы 3 подгруппы студентов, соответствующие трём типам вентиляции по 25 юношей в каждой (с одинаковыми антропометрическими показателями). Как следует из представленных результатов, у студентов существует

ярко выраженная взаимосвязь между уровнем аэробных возможностей и величиной напряжения CO_2 в выдыхаемом воздухе, которая носит линейный характер и выражена в различной степени в определенном диапазоне изменений P_{ETCO_2} . Как правило, лица с гипокапническим типом вентиляции обладали низкими показателями физической работоспособности, и параметры МПК/кг не превышали значений 36 мл/мин/кг. У группы студентов, имеющих гиперкапнический тип вентиляции параметры МПК составляли 40,6 мл/мин/кг. Вместе с тем, следует обратить внимание на группу студентов, имеющих нормокапнический тип вентиляции. Для них характерным являлся более высокий уровень аэробных возможностей, где параметры МПК/кг составляли 43 мл/мин/кг.

Таким образом, выявленные типы вентиляции оказывали значительное влияние на приспособительные возможности организма студентов. Наиболее высокими показателями энергетического потенциала обладали лица с нормокапническим типом вентиляции. При этом, важно отметить, что при увеличении внешней нагрузки до 200 Вт в процессе проведения нагрузочного тестирования, изменение типов вентиляции в группах 1 и 2 были различны (рис.2.).

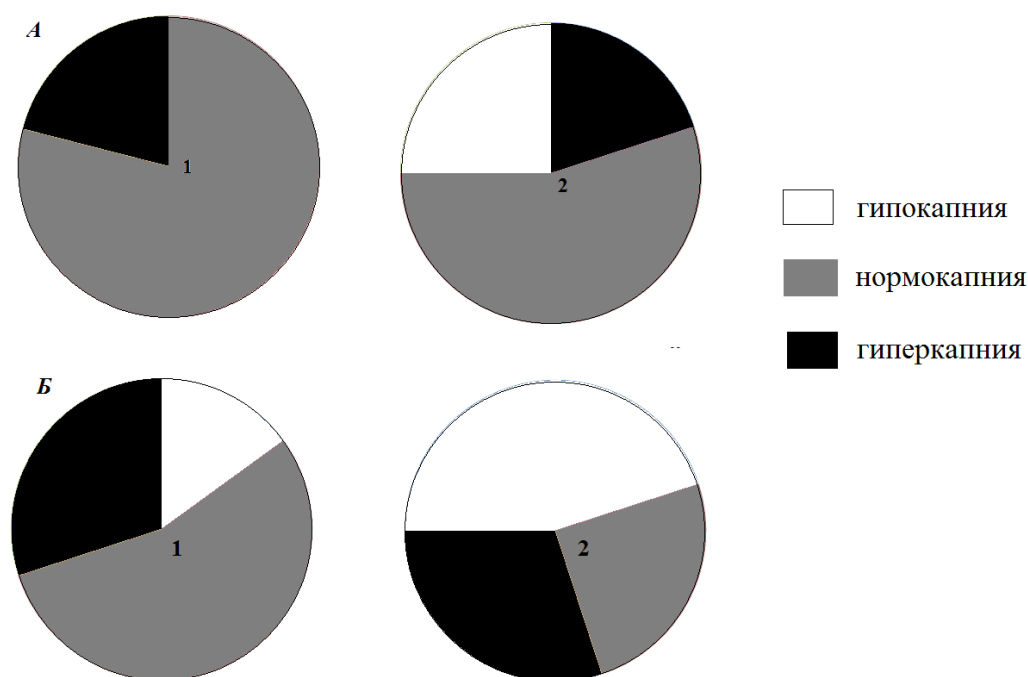


Рис. 2. Распределение типов вентиляции в покое (А) и при увеличении внешней нагрузки до 200 Вт (Б) в группах спортсменов (1) и студентов (2).

Так, у большей части обследуемых студентов, напротив, резкое увеличение в два раза ($p < 0,05$) числа исследуемых второй группы с гипер- и гипокапническими типами, отражало отсутствие возможности гомеостатических механизмов удержания нормокапнического состояния.

Динамика корреляционной зависимости по рассчитанным парным коэффициентам корреляции напряжения углекислоты (P_{ETCO_2}) и частоты дыхания (ЧД) при ступенчато-повышающейся нагрузке выявила, что формирование

гипокапнического типа у студентов можно связать с гипервентиляцией, возникающей в результате формирования тахипноического типа дыхания, достигающего значений 45-50 дыхательных движений в минуту (табл.1).

Таблица 1

Динамика корреляционной взаимосвязи показателей $P_{ET}CO_2$ – ЧД в группах юношей 19-20 лет с разным уровнем физической работоспособности, ($\bar{x} \pm Sx$), $n=175$

Контингент	Условия						
Группа	1 покой	5 0 Вт	10 00 Вт	15 50 Вт	20 0 Вт	25 0 Вт	30 ос-ние 3 мин
Спортсмены ($n=25$)	-	- 0,64**	-	-	-	-	-
Студенты ($n=150$)	-	-	0 ,75***	- 0,72*	- 0,65**	- 0,75***	-

Примечание: достоверность ранговой корреляции Спирмена: * - ($p < 0,05$); ** - $p < 0,01$; *** - $p < 0,001$.

У спортсменов эта взаимосвязь была выявлена только на этапе вработывания, что так же отражало высокий уровень адаптационных резервов. Корреляционный анализ так же определил, что у студентов взаимосвязь пары $P_{ET}CO_2$ - ИН ($r=0,65$, $p < 0,05$) носит положительный характер, а у спортсменов отсутствует. Вероятно, гиперкапнический тип вентиляции у нетренированных юношей можно связать с компенсаторными процессами, приводящими к увеличению напряжения механизмов регуляции, а гиперкапния спортсменов обусловлена увеличением метаболического CO_2 .

В этом аспекте, динамика изменения напряжения регуляторных механизмов при ступенчато-повышающейся нагрузке по показателю индекса напряжения свидетельствовала о значительном различии механизмов адаптации у юношей двух исследуемых групп (рис.3.). В группе студентов, с третьей ступени нагрузочного теста и в восстановительном периоде, ИН более, чем в два раза превышал значения в группе спортсменов ($p < 0,01$).

Как известно, нормальное состояние человека может быть определено как слаженное взаимодействие функциональных систем различного уровня организации в их иерархических, мультипараметрических и временных соотношениях по горизонтали и вертикали, обеспечивающие оптимальный для жизнедеятельности организма гомеостаз и адаптацию к изменяющимся условиям внешней среды.

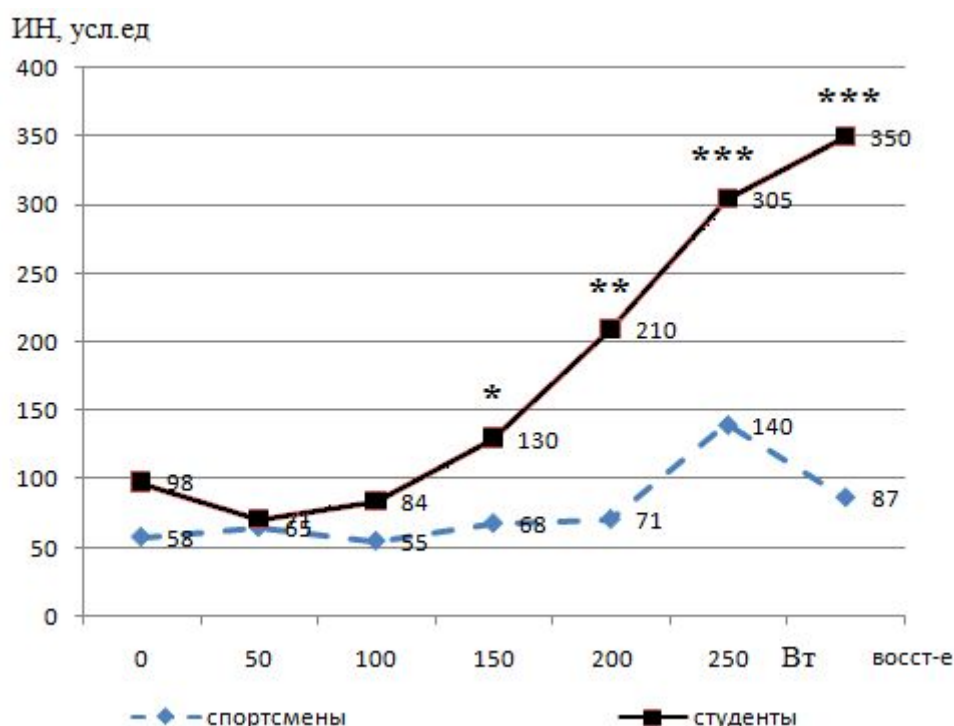


Рис. 3. Динамика изменения ИН (усл.ед.) при ступенчато-повышающейся нагрузке в группах с разным уровнем физической работоспособности.

Достоверность межгрупповых различий * - $p < 0,05$; ** - $p < 0,01$; *** - $p < 0,001$.

Таким образом, анализ взаимосвязи содержания углекислоты в выдыхаемом воздухе с определением типа вентиляции, паттерна дыхания и напряжения регуляторных механизмов организма позволил определить функциональную направленность изменений в структуре системы регуляции кислородного режима организма у юношей с различным уровнем физической работоспособности.

ВЫВОДЫ:

1. В группе студентов-спортсменов параметры МПК/кг находились в диапазоне значений 54-64 мл/мин/кг, что соответствовало высокому уровню работоспособности, что сопровождалось характерным нормокапническим типом вентиляции, а корреляционная взаимосвязь между величиной напряжения CO_2 и величиной МПК/кг в этой группе выявлена не была.

2. У студентов, не занимающихся регулярно физическими упражнениями с параметрами МПК/кг в пределах 33-46 мл/мин/кг существует ярко выраженная взаимосвязь между уровнем аэробных возможностей и величиной напряжения CO_2 в выдыхаемом воздухе, которая носит линейный характер и выражена в различной степени в определенном диапазоне изменений $P_{\text{ET}}\text{CO}_2$:

- с гипокапническим типом вентиляции обладают низкими показателями физической работоспособности, и параметры МПК/кг не превышали значений 36 мл/мин/кг ($r=0,51$, $p<0,01$);
- у группы студентов, имеющих гиперкапнический тип вентиляции параметры МПК составляли 40,6 мл/мин/кг ($r=0,70$, $p<0,001$);

- студентам, имеющих нормокапнический тип вентиляции, характерен более высокий уровень аэробных возможностей, где параметры МПК/кг составляли 43 мл/мин/кг ($r=0,75$, $p<0,001$).

3. При увеличении внешней нагрузки до 200 Вт в процессе проведения нагрузочного тестирования, изменение типов вентиляции в группах спортсменов и студентов были различны, а увеличение в два раза ($p<0,05$) числа исследуемых студентов с гипер- и гипокапническими типами, отражало отсутствие возможности гомеостатических механизмов удержания нормокапнического состояния.

4. Формирование гипокапнического типа у студентов можно связать и гипервентиляцией, возникающей в результате формирования тахипноического типа дыхания, достигающего значений 45-50 дыхательных движений в минуту.

5. В группе студентов, с третьей ступени нагрузочного теста и в восстановительном периоде, ИН более, чем в два раза превышал значения в группе спортсменов ($p < 0,01$).

6. У студентов взаимосвязь пары $P_{ET}CO_2$ - ИН ($r=0,65$, $p<0,05$) носит положительный характер, что можно связать с компенсаторными процессами, приводящими к увеличению напряжения механизмов регуляции при гиперкапническом типе вентиляции. У спортсменов отсутствует такая взаимосвязь, а гиперкапния обусловлена увеличением метаболического CO_2 .

References:

1. Agadzhanyan NA. *Body functions under conditions of hypoxia and hypercapnia*: NA. Aghajanian, AI. Elfimov. Moscow, Medicine, 1986; 272.
2. Agadzhanyan NA. *The physiological role of carbon dioxide and human performance*: NA. Aghajanian, NP. Krasnikov, IP. Polunin. Moscow, Peoples' Friendship University, 1995; 188.
3. Amosov NM, Bendet JaA. *Physical activity and heart*. Kiev, Health Protection, 1989; 215.
4. Aulik IV. *Determination of physical performance in the clinic and sports*. Moscow, Medicine, 1990; 192.
5. Byalovskiy YuYu. *Capnography in General Practice* : YY. Byalovsky, VN. Abrosimov. Ryazan, Delo, 2007; 142.
6. Kolchinskaja AZ. *Hypoxia load: Hypoxia load. Mathematical modeling, prediction and correction*. Kiev, Ukrainian Academy of Sciences, Institute of Cybernetics. Glushkov, 1990; 27- 29.
7. Kolchinskaja AZ. *Sports and hypoxia load: The oxygen regime of the body, performance, fatigue during intense muscle activity*: (Ext. Mat. Slave. Meeting). Vilnius, 1989, Part 1; 67 - 76.
8. Lukash SI. *Problems of diagnosis of certain diseases of exhaled air: Komp'yuterni zasobi, merezhi that system*, 2010, № 9; 62 - 71.
9. Minina EN. *New approach to study the relationship of functional readiness and electrogenesis SPORTSMEN with the reference cardiac cycle: Bulletin of new medical technologies. (Electronic Journal)*, 2014, N 1.
10. Rodnov VG. *Breathing in muscular load*. [Internet] Available from: <http://www.bibliofond.ru>
11. Tirni D. [Internet] Available from: <http://www.gayyoga.gn.apc.org/Respiration.htm>
12. Ul'mer HF. *Energy Balance*. [Internet] Available from: <http://www.medvuz.com>.

13. Filipov MM. *The process of mass transfer of respiratory gases during muscle activity. The degree of hypoxia load: The secondary tissue hypoxia.* Kiev, Naukova Dumka, 1983; 197-216.
14. Fainzilberg LS. *FAZAGRAF® - effective information processing technology in the problem of ECG screening for coronary heart disease: Clinical informatics and telemedicine,* 2010; 6-7, 22-30.